

DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM IMPERMEABILIZAÇÕES DE COBERTURAS EM TERRAÇO ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS



ANA MELRINHO
Engenheira Civil
(FCT NOVA)
Caparica



LUIS MATIAS
Investigador Auxiliar
(LNEC)
Lisboa



PAULINA FARIA
Professora Associada
(CERIS ,ICIST , FCT NOVA)
Caparica

SUMÁRIO

Em Portugal a execução de coberturas planas é muito corrente. No entanto, apesar das evoluções positivas que, nas últimas décadas, este tipo de coberturas tem tido a nível de materiais e soluções construtivas, continuam a surgir anomalias associadas à impermeabilização que resultam, em geral, em infiltrações de água através da cobertura. Para detectar precocemente estas anomalias desenvolveu-se uma metodologia de análise não destrutiva através da utilização de termografia de infravermelhos (TIV).

A metodologia permite, através da medição da radiação emitida pela superfície da cobertura, identificar heterogeneidades de temperatura que podem resultar da presença de espaços de ar e/ou água sob o sistema de revestimento da impermeabilização. Neste artigo apresentam-se os principais resultados obtidos no âmbito desta investigação, que permitiram comprovar a sensibilidade do método da TIV na detecção e mapeamento das anomalias no sistema de impermeabilização de coberturas planas.

ABSTRACT

In Portugal, the application of flat roofs is very common. However, despite the positive developments throughout time, to the level of materials and design solutions, anomalies associated with waterproofing still emerge, usually resulting in water inlet through the roof. For early detection of these anomalies a non-destructive method of analysis by infrared thermography (IRT) was developed.

By measuring the radiation emitted by the flat roof surface and the resulting representation of superficial temperatures distribution, this test method allows to identify the heterogeneity of the temperatures that can result from the presence of air spaces or water under the waterproofing coating system. This paper presents the main results obtained, confirming the sensitivity of the IRT method for the detection and mapping of anomalies in flat roofs.

1. Introdução

Os materiais de origem betuminosa foram, ao longo do tempo, aplicados frequentemente como camada de impermeabilização de coberturas em terraço. Embora existam no mercado sistemas de impermeabilização aplicados *in situ*, continuam a ser os materiais prefabricados na forma de membranas os que mais se utilizam neste tipo de soluções [1]. Entre estes, os sistemas de impermeabilização com base em membranas de betume polímero são os mais frequentemente encontrados em edifícios existentes. No entanto, apesar do aparecimento de novos produtos e das melhorias técnicas ao nível das soluções construtivas, continuam a surgir anomalias que não permitem um correcto desempenho das coberturas planas, principalmente ao nível do revestimento de impermeabilização.

Pretende-se avaliar em que medida a detecção de anomalias, nomeadamente a existência de água e/ou ar entre a impermeabilização e o suporte, pode ser realizada através de métodos não destrutivos, como é o caso da termografia de infravermelhos (TIV). Através deste método é possível medir a radiação emitida pela superfície da membrana de impermeabilização, obtendo-se um mapeamento de temperaturas superficiais. Após a análise da imagem termográfica obtida com a câmara, as anomalias presentes na impermeabilização são identificáveis através das heterogeneidades de temperatura.

Numa primeira fase, e devido à complexidade da aplicação do método *in situ*, foram realizados ensaios em laboratório. Num dos provetes houve o cuidado de deixar zonas aderentes e zonas descoladas, para que fosse possível a identificação de anomalias através da termografia de infravermelhos.

Numa segunda fase, o método termográfico foi aplicado *in situ*, em dois provetes expostos no exterior e em coberturas reais, de forma a validar o estudo realizado em laboratório. À semelhança dos provetes ensaiados em laboratório, os provetes ensaiados *in situ* (de maior dimensão) foram preparados com anomalias controladas, sendo neste caso os ensaios realizados em condições reais de exposição.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Radiação: princípios físicos

A radiação electromagnética pode ser representada na forma de espectro, também designado de espectro electromagnético.

A componente da radiação electromagnética mais importante na análise em edifícios é designada por radiação térmica, uma zona limitada do espectro electromagnético que varia entre $0.1\mu\text{m}$ e os $100\mu\text{m}$ [2]. Nesta gama incluem-se:

- Uma pequena parte da radiação ultravioleta, de $0.1\mu\text{m}$ a $0.4\mu\text{m}$.
- A radiação visível, de $0.4\mu\text{m}$ a $0.78\mu\text{m}$.
- Uma grande parte da radiação infravermelha, de $0.78\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$.

A radiação infravermelha, que resulta do aumento da agitação térmica de partículas atómicas por aquecimento, é detectável através de câmaras termográficas e pode ser dividida em três gamas distintas [3]:

- Infravermelhos próximos (NIR), de $0.78\mu\text{m}$ a $1.5\mu\text{m}$.
- Infravermelhos médios (MIR), de $1.5\mu\text{m}$ a $20\mu\text{m}$.
- Infravermelhos distantes (FIR), de $20\mu\text{m}$ a $1000\mu\text{m}$.

Actualmente, a radiação infravermelha pode ser medida através de equipamentos como termómetros pontuais de infravermelhos, *scanners* de linha e câmaras termográficas [4]. Foi este último equipamento o utilizado no presente estudo. A gama espectral de medição da câmara utilizada (ThermaCAM P640 da FLIR Systems) é de $7.5\mu\text{m}$ a $13\mu\text{m}$, sendo a mais adequada e precisa na análise termográfica de edifícios [5].

2.2. TIV: Técnica não destrutiva

2.2.1. Termografia activa e passiva

A termografia de infravermelhos permite, para além da avaliação do desempenho térmico dos edifícios (utilização mais usual no sector da engenharia civil), a detecção e a identificação de anomalias na envolvente do edifício. Para que seja possível realizar este tipo de ensaios não destrutivos é necessário existir um fluxo térmico através do elemento em análise, resultante de uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior ou gerado por uma fonte de calor. Para garantir a existência do fluxo térmico referido podem ser utilizados dois métodos de aquecimento: método passivo e método activo [6].

No método passivo, ou termografia passiva, o fluxo térmico é gerado apenas pelo diferencial de temperatura existente entre o ambiente exterior e o ambiente interior do edifício. Recomenda-se que esse diferencial de temperatura entre ambientes seja sempre superior a 10°C [4].

No método activo, ou termografia activa, o aquecimento do elemento em estudo é realizado através de um fluxo térmico imposto, naturalmente, através da incidência da radiação solar, ou artificialmente, utilizando lâmpadas ou outros tipo de dispositivos que provoquem aquecimento (ópticos ou mecânicos). O fluxo térmico artificial pode ser conseguido de diversas formas [7]:

- Termografia de impulso.
- Aquecimento contínuo.
- Termografia modulada.
- Termografia pulsada de fase.
- Termografia por vibração.

O método de aquecimento adoptado no presente estudo em laboratório, para aquecimento dos provetes em análise, foi semelhante à termografia de impulso. Este método de aquecimento utiliza um impulso de energia térmica para aquecimento da superfície e, posteriormente, permite a monitorização do abaixamento da temperatura através da câmara de termografia. No entanto, a temperatura à superfície do material altera-se rapidamente depois da perturbação térmica inicial. Este fenómeno resulta da propagação da frente térmica, por difusão, para o interior do elemento construtivo e das perdas associadas ao processo (perdas por convecção e radiação). Quando existe uma anomalia, esta provoca uma alteração na taxa de difusão da frente térmica, originando temperaturas distintas entre a zona da anomalia e a sua envolvente.

2.2.2. Vantagens e limitações da TIV

Qualquer método de ensaio tem os seus pontos fortes e os seus pontos fracos. O método de análise não destrutivo através da termografia de infravermelhos não é uma excepção à regra.

Podem citar-se as seguintes vantagens ao adoptar o método não destrutivo da TIV [7]:

- Inspeção rápida.
- Técnica adequada para inspeção de grandes superfícies.
- Não existe contacto com a superfície.
- Ensaio seguro para o técnico que realiza, uma vez que a radiação envolvida no processo não é prejudicial à saúde.
- Em geral, os resultados são fáceis de interpretar por técnicos com conhecimentos básicos de física.
- Possibilidade de grande variedade de aplicações em edifícios; detecção de anomalias, detecção de infiltrações e pontes térmicas, detecção da rede de drenagem de águas residuais, detecção da rede de abastecimento de água quente.
- Análise efectuada em tempo real.

No entanto, este método também apresenta algumas limitações [7]:

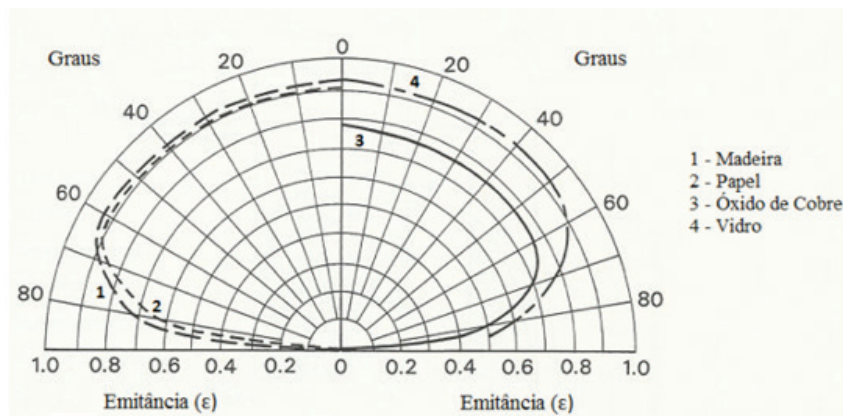
- Dificuldade em obter aquecimento uniforme de grandes superfícies.
- As trocas térmicas por radiação e por convecção podem alterar a temperatura superficial do elemento, dificultando a análise dos resultados.
- Custo elevado do equipamento.
- O equipamento necessita de um diferencial significativo de temperatura entre a superfície do material e a temperatura ambiente para conseguir detectar anomalias.
- Dificuldade em detectar anomalias muito profundas se não existir a imposição de um fluxo de calor intenso.
- A técnica é influenciada pelas variações de emitância do material, pela reflectância da superfície, pelas condições atmosféricas e pelo sombreamento originado por obstáculos próximos; daí que seja de extrema importância a análise prévia da variação do sol ao longo do dia (no local da inspecção).

2.2.3 Factores que influenciam a medição da radiação emitida

Apesar da TIV ser um método relativamente simples, cujos resultados podem ser interpretados com alguma facilidade, há que ter especial atenção aos factores que influenciam este tipo de medição. Antes do início de qualquer inspecção esses factores devem ser tidos em conta, de forma a não se realizarem análises incorrectas.

É bastante frequente confundir a existência de anomalias no elemento em análise com alterações das temperaturas superficiais, originadas por factores externos. Essas alterações podem ser provocadas por diversos factores, tais como sombreamento, reflexão provocada por outras superfícies, diferentes tipos de acabamentos, condições atmosféricas variáveis, e também por parâmetros que são introduzidos ou inerentes à câmara de termografia (emitância, temperatura reflectida, temperatura ambiente, distância ao elemento em análise, etc.).

A emitância de um material varia com a temperatura, com o comprimento de onda, e com a direcção da radiação emitida (variando, assim, com o ângulo de observação). Por esse motivo, em superfícies planas, o ângulo de observação adoptado para a câmara termográfica também pode originar alterações nas temperaturas superficiais obtidas. De acordo com J. Hart [8], a variação da emitância para os não metais é quase nula quando se adoptam ângulos de observação entre os 0° e os 60° com a normal à superfície (Figura 1).



Legenda: 1 - madeira; 2 - papel; 3 – óxido de cobre; 4 – vidro.

Figura 1: Variação da emitância de alguns não metais com o ângulo de observação [8].

2.2.4 Propriedades térmicas dos materiais

A detecção de anomalias através do método da TIV vai focar-se, no presente trabalho, na detecção de água e ar sob o sistema de revestimento da impermeabilização. Para a detecção dessas anomalias é necessário, em primeiro lugar, compreender quais as características que influenciam o comportamento desses materiais quando sujeitos a solicitações de energia térmica.

A inércia térmica caracteriza a resistência do material em estudo face à alteração do seu estado termodinâmico. Esta propriedade relaciona-se com a capacidade que o material tem em armazenar calor. Assim, quanto maior for a inércia térmica, mais facilmente o material absorve a energia a que está sujeito sem que exista grande variação do seu estado termodinâmico [9] (Tabela 1). As principais propriedades térmicas relacionadas com a inércia térmica são o calor específico, c_p , a condutibilidade térmica, λ , a massa volúmica, ρ , a difusividade térmica, a , e a efusividade térmica, b . As duas últimas propriedades referidas permitem a análise da inércia térmica em regime não-estacionário [10].

Tabela 1 - Calor específico e inércia térmica da água e do ar [11] [12].

Materiais	Calor específico [J/(kg.K)]	Difusividade térmica [m²/s]	Efusividade térmica [J/(K.m².s^{0.5})]	Inércia Térmica
Água	4187	0.14x10 ⁻⁶	1580	Forte
Ar	1000	20x10 ⁻⁶	5	Fraca

3. Procedimentos experimentais

3.1. Considerações iniciais

Para que se conseguisse uma aplicação do método da TIV adequada, tanto em laboratório como *in situ*, consideraram-se vários factores antecipadamente, nomeadamente as condições ambientes, o tipo de aquecimento dos provetes, assim como a garantia da perpendicularidade e a distância ideal entre a câmara termográfica e os provetes em estudo, de forma a minimizar erros de leitura daí resultantes.

A medição das condições ambientes, tanto em laboratório como *in situ*, foi obtida através de um termo-higrómetro HygroLog Digital. Este equipamento permitiu medir de forma rápida, e com exactidão ($\pm 1.0\%$ HR/ $\pm 0.2^\circ\text{C}$), a temperatura e a humidade relativa do ar, parâmetros a introduzir na câmara de termografia antes de qualquer registo.

Para a câmara de termografia conseguir detectar as anomalias no elemento em estudo é necessário um diferencial de temperatura significativo, entre a superfície desse elemento e a temperatura ambiente. Tanto em laboratório como *in situ*, esse diferencial térmico foi conseguido através de métodos activos. Em laboratório o aquecimento dos provetes foi alcançado artificialmente através de uma placa de aquecimento. Para garantir um fluxo de calor adequado para a detecção das anomalias, os provetes em estudo foram aquecidos durante um período de 30 minutos (intervalo de tempo estimado após vários testes com o equipamento), procedendo-se à medição com a câmara de termografia logo após ser retirada a placa de aquecimento. Nos ensaios dos provetes e das coberturas exteriores, foi o fluxo de calor imposto pelo Sol que permitiu garantir o diferencial térmico necessário à detecção de anomalias, ou seja, o aquecimento das superfícies avaliadas foi conseguido de forma natural. No exterior, para que fossem obtidas imagens termográficas de qualidade, foi evitado o contacto directo entre a câmara de termografia e a radiação solar. A protecção da câmara foi conseguida através de um guarda-sol.

Por fim, também houve o cuidado de garantir que a câmara termográfica mantinha a perpendicularidade e a distância em relação à superfície a analisar. Desta forma, os erros resultantes da alteração do ângulo de observação, como se mencionou no ponto 2.2.3, foram minimizados. A perpendicularidade e a distância (aproximadamente 2 m) entre a superfície a analisar e a câmara foi conseguida através da utilização de um suporte metálico (Figura 2), construído propositadamente para o efeito.



Figura 2: Suporte metálico utilizado para garantir a perpendicularidade entre a câmara termográfica e a superfície a inspeccionar [6].

3.2. Ensaaios em laboratório

Para a realização dos ensaios em laboratório prepararam-se dois provetes: um deles com anomalias provocadas e um outro sem qualquer tipo de anomalia. Estes provetes resultaram da aplicação de membranas de betume polímero - que, tal como referido anteriormente, são as mais frequentes em coberturas planas existentes em Portugal – sobre a face de duas lajetas térmicas de betão. Os provetes em estudo apresentam dimensões superficiais de 0.60m x 0.60m.

Para provocar as anomalias (empolamentos e humidade) no provete adoptaram-se dois procedimentos distintos. Para garantir a existência de espaços de ar, entre a membrana de impermeabilização e o suporte, durante a elaboração dos provetes com anomalias deixaram-se duas áreas laterais da membrana sem qualquer tipo de aderência ao suporte e uma zona central com aderência total. O segundo procedimento, para garantir a existência de água sob o revestimento de impermeabilização, só foi adoptado após terem sido realizadas todas as termografias correspondentes à detecção de empolamentos e consistiu na injeção de água em alguns espaços de ar.

Durante os ensaios foi necessário realizar o aquecimento dos provetes previamente, como se mencionou no ponto 3.1. Esse aquecimento foi realizado com contacto da placa quente ao suporte (aquecimento por condução).

No ponto 2.2.3 foi referido que, para os materiais não metálicos, a variação da emitância era quase nula quando se adoptavam ângulos de observação entre os 0° e os 60° com a perpendicular ao provete. Apesar de ter sido construído um suporte metálico para reduzir os erros associados à alteração do ângulo de observação, o transporte deste utensílio para posteriores análises *in situ* não seria fácil (devido às suas dimensões e ao peso). Por este motivo, avaliou-se em laboratório os erros associados à alteração do ângulo de observação. Para o efeito, realizaram-se também medições da temperatura superficial ao longo do tempo, com a câmara posicionada a 60° com a normal à superfície do provete (para além das realizadas com a câmara na perpendicular utilizando o suporte metálico). Para que se conseguisse colocar a câmara aproximadamente a 60° com a normal à superfície foi utilizado um cabo extensível, que permitia a rotação da base de apoio, e um transferidor.

3.3. Ensaaios *in situ* com anomalias controladas

Os dois provetes utilizados nos ensaios exteriores foram provetes que tinham sido previamente sujeitos a ensaios de resistência à sucção do vento, realizados na Unidade de Revestimentos de Coberturas (URC) do LNEC. Estes provetes foram seleccionados por apresentarem bastantes anomalias conhecidas, resultantes do ensaio anterior, e retratarem muito aproximadamente uma aplicação à escala real. Os ensaios exteriores, ao contrário do estudo em laboratório, realizaram-se em condições ambientais variáveis. Face às dimensões (1.98m x 1.98m) foi necessária a construção de uma grelha, delimitada por fita de alumínio, para facilitar a inspecção termográfica. A utilização da fita de alumínio limitou áreas rectangulares detectáveis com a câmara de termografia.

4. Análise e discussão de resultados

4.1. Ensaaios em laboratório

4.1.1 Detecção de empolamentos

Após se ter retirado a placa quente, que permitiu o aquecimento do provete por contacto, verifica-se que as zonas onde se encontram as bolsas de ar atingem temperaturas mais elevadas do que a zona aderente envolvente, com cerca de 1.5°C de diferença (Figura 3).

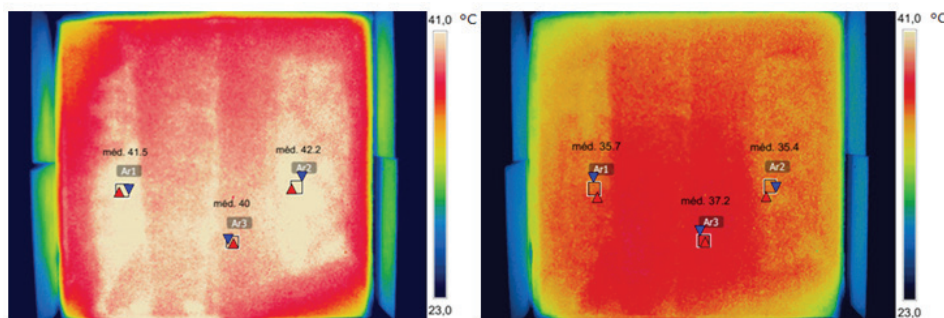


Figura 3: Termogramas obtidos após a retirada da placa de aquecimento.

a) termograma obtido aos 0 minutos e b) termograma obtido após 6 minutos de arrefecimento [6].

Após o aquecimento com a placa quente, foram realizadas termografias com um espaçamento temporal de 2 minutos, de forma a acompanhar o comportamento das zonas onde se encontravam os espaços de ar. Com a definição de alguns pontos em comum, entre os vários termogramas, foi possível traçar o gráfico da Figura 4.

Pode verificar-se na Figura 4 que inicialmente, aos 0 minutos, as zonas de empolamentos se encontram mais quentes que as zonas aderentes. No entanto, após um intervalo de tempo relativamente pequeno (cerca de 2 minutos após a retirada da placa quente) o comportamento inverte-se, passando as zonas aderentes a ter uma temperatura mais elevada.

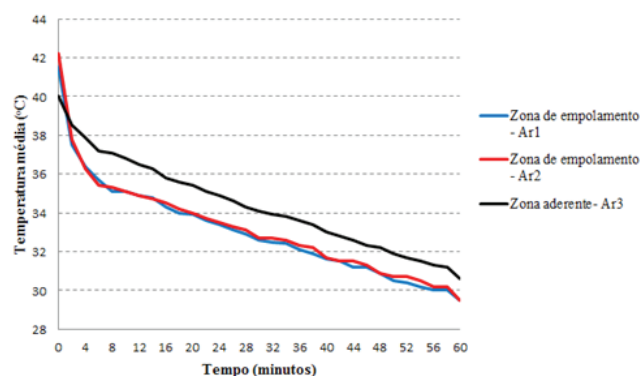


Figura 4: Diferencial de temperaturas entre a zona aderente e as zonas de empolamentos ao longo do período de arrefecimento [6].

Nesses locais existe uma pequena lâmina de ar entre o revestimento de impermeabilização e o suporte. Essa lâmina de ar faz com que exista uma descontinuidade e, por esse motivo, a temperatura superficial nas zonas de empolamento é condicionada apenas pelo comportamento do ar aí existente. Como o ar apresenta uma inércia térmica fraca, qualquer solicitação de energia térmica altera facilmente o seu estado termodinâmico. Assim, as zonas de empolamento tendem a aquecer e a arrefecer mais rapidamente que as zonas aderentes.

4.1.2 Detecção de água

Após a injeção de água entre a membrana de impermeabilização e o suporte, o provete com anomalias foi aquecido com a placa quente durante um período de 30 minutos e ensaiado imediatamente.

Depois de se retirar a placa de aquecimento, verifica-se na Figura 5 que a zona de empolamento Ar2 continua a apresentar temperaturas superficiais maiores que as zonas circundantes. No entanto, a zona onde se injectou água, Ar1, apresenta agora temperaturas superficiais mais baixas do que a zona aderente.

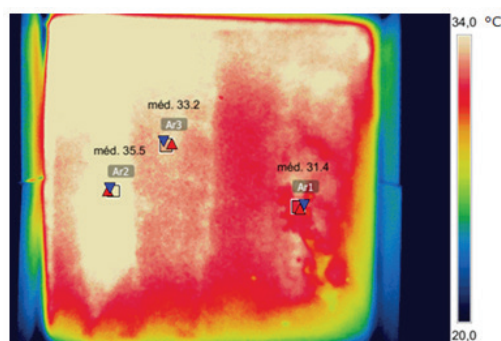


Figura 5: Termografia obtida logo após a retirada da placa de aquecimento [6].

O comportamento das zonas húmidas explica-se pela elevada inércia térmica da água. O suporte, ao ficar húmido, consegue absorver e armazenar maiores quantidades de energia térmica sem que a alteração do seu estado termodinâmico seja significativa. Assim, em análises *in situ*, espera-se que as zonas onde se encontra água sob o revestimento de impermeabilização aqueçam e arrefeçam mais lentamente do que as zonas secas adjacentes.

4.1.3 Alteração do ângulo de observação

Para avaliar o erro associado ao adoptar um ângulo de observação de 60° entre a câmara termográfica e a normal à superfície do provete em análise, preservaram-se os três pontos (Ar1, Ar2, Ar3) entre o ensaio realizado na perpendicular, visível na Figura 3, e o ensaio a 60° como normal à superfície.

Após terem sido obtidos os termogramas dos dois ensaios, ao longo de um período de 60 minutos, foi possível representar a variação da temperatura superficial, tanto na zona Ar1 como na zona Ar2 (Figura 6).

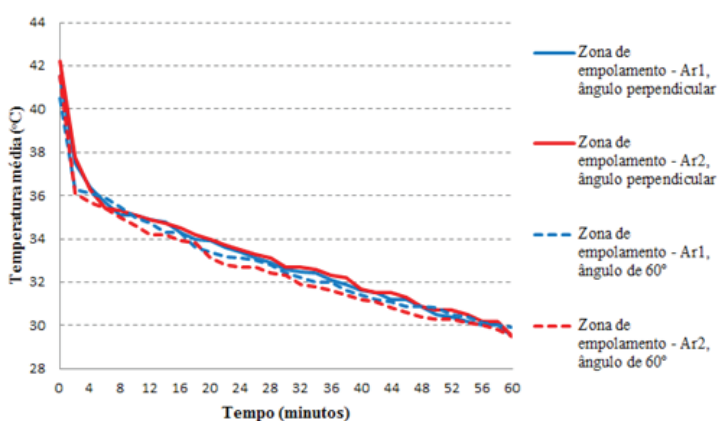


Figura 6: Efeito da alteração do ângulo de observação na temperatura superficial do provete [6].

Na figura 6, é possível verificar que a variação de temperatura entre as duas medições é muito semelhante ao longo do tempo. Desta forma, pode-se concluir que o erro associado à adopção de um ângulo até 60° com a perpendicular é bastante reduzido, sendo por isso desprezável na avaliação qualitativa de anomalias através da TIV.

4.2. Ensaaios *in situ* com anomalias controladas

Tal como aconteceu nos ensaios em laboratório, nos ensaios *in situ* foi necessário criar um fluxo térmico nos provetes para que a detecção das anomalias através da TIV fosse possível. No entanto, o fluxo térmico no exterior é imposto pela radiação solar. Para que fosse possível a detecção de água sob o revestimento de impermeabilização, de forma semelhante ao que foi analisado em laboratório, foram realizadas leituras após um período de precipitação longo.

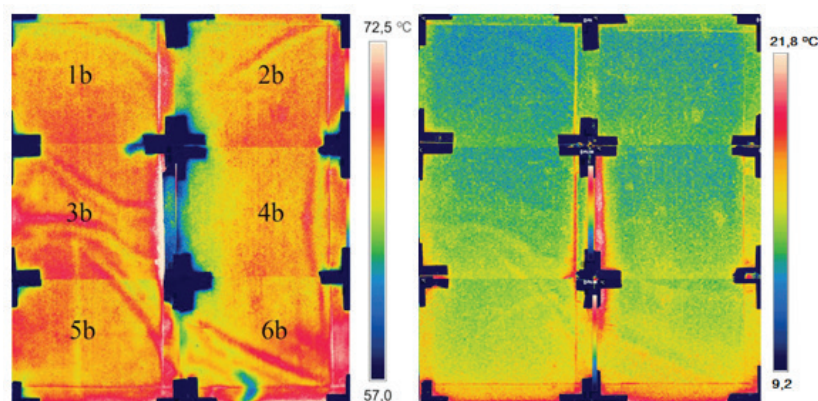


Figura 7: imagem termográfica total do provete b). a) detecção de empolamentos no período de aquecimento (14h) e b) detecção de água no período de arrefecimento (19h) [6].

Verificou-se *in situ* que tanto a detecção de empolamentos como a detecção de água sob o revestimento de impermeabilização era possível, como já se tinha verificado em laboratório. Na detecção de empolamentos (Figura 7 a), as temperaturas superficiais mais elevadas corresponderam efectivamente a zonas onde os empolamentos tinham sido detectados previamente, validando assim os resultados obtidos em laboratório. Na detecção de água sob a impermeabilização no período nocturno (Figura 7 b), confirmou-se que as zonas mais húmidas demoram mais tempo a arrefecer (em comparação com as zonas mais secas que se apresentam com temperaturas superficiais mais baixas), comportamento também analisado em laboratório.

5. Principais Conclusões

O método não destrutivo da termografia de infravermelhos demonstrou ser bastante eficaz na detecção e identificação de anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço, nomeadamente na detecção de espaços de ar e/ou água sob o revestimento de impermeabilização. No entanto, verificou-se que, para se obterem resultados fiáveis, é necessário impor um fluxo térmico nas superfícies a analisar: artificialmente em laboratório, através de dispositivos eléctricos de aquecimento; *in situ* por acção da radiação solar. Dessa forma, as condições climáticas, de exposição solar e de sombreamento, constituem aspectos que têm de ser tidos em conta para o agendamento da realização de inspecções *in situ* com equipamento de termografia.

Em laboratório verificou-se que a detecção de empolamentos, assim como a detecção de água sob o revestimento de impermeabilização, é possível através do método da TIV. Os empolamentos são detectáveis por serem uma zona de fraca inércia térmica, ao contrário das zonas húmidas, que são zonas de elevada inércia térmica. Desta forma, constatou-se que as zonas com espaços de ar aquecem e arrefecem mais rapidamente que as áreas circundantes, enquanto que as zonas com água sob a impermeabilização aquecem e arrefecem mais lentamente que a envolvente.

Os ensaios *in situ* dos provetes permitiram validar os resultados obtidos em laboratório, tanto para a detecção de empolamentos como para a detecção de água.

Um dos factores que também pode influenciar a imagem térmica obtida pela câmara termográfica é a alteração do ângulo de observação. No entanto, ao longo do desenvolvimento experimental verificou-se que, mesmo existindo algum erro associado à alteração do ângulo de observação, esse é mínimo e a identificação das anomalias continua a ser possível. Esta última conclusão, associada à vantagem de não ser necessária a utilização de um suporte especial durante as campanhas experimentais *in situ* (do tipo do suporte metálico utilizado no presente estudo), torna este tipo de inspecção extremamente viável para a aplicação a casos reais.

6. Referências

- [1] LOPES, J. M. G., Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço - ITE34, LNEC, 1994.
- [2] HENRIQUES, F. M. A., Comportamento Higrotérmico de edifícios, FCT NOVA, 2011.
- [3] MALDAGUE, X. P. V., Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing, Jonh Wiley & Sons, 2001.
- [4] SYSTEMS, F., Manual do Utilizador - ThermaCAM reporter, 2007.
- [5] MATIAS, L., Testing Techniques for structures inspection. Thermography, Lisboa: in DuratiNet Course book: LNEC, 29 a 30 de Maio de 2012.
- [6] MELRINHO, A. C., Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço: detecção por termografia de infravermelhos, Dissertação de Mestrado: FCT NOVA, 2014.
- [7] MALDAGUE, X. P. V., Introduction to NDT by infrared thermography, Université Laval, 2002.
- [8] HART, J. M., A practical guide to infra-red thermography for building surveys, Construction Research Communications Lda., 1991.
- [9] MATIAS, L., Avaliação do desempenho térmico de protecções reflectantes aplicadas em coberturas inclinadas, Tese de doutoramento: FCUL, 2001.
- [10] PEREIRA, A. C., A difusividade térmica, a efusividade térmica e a inércia térmica da envolvente dos edifícios, [Online]. Available: http://www.get.pt/site_files/publicaes/a_difusividade_.
- [11] MENDONÇA, P., Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.
- [12] REMPEL, A. R.; REMPEL, A., Rocks, clays, water, and salts: Highly durable, infinitely rechargeable, eminently controllable thermal batteries for buildings, Geosciences, 2013.
- [13] BARREIRA, E., Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2004.
- [14] AVDELIDIS, N. P.; MOROPOULOU, A., Emissivity considerations in building thermography, Energy and Buildings, vol. 34, 2003.
- [15] BALARAS, C. A.; ARGIRIOU, A., Infrared thermography for buildings diagnostics, Energy and Buildings, vol. 34, 2002.
- [16] MODEST, M. F., Radiative heat transfer, Academic Press, 2003.
- [17] MALDAGUE, X. P. V., Infrared and thermal testing, American Society for Nondestructive Testing, 2001.
- [18] LOPES, J.; BRITO, J., Mechanical performance of lap joints of flat roof waterproofing membranes subject to artificial weathering, Experimental Techniques, vol. 35(3), 2011.